

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-183436

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 N 27/419

27/416

識別記号

F I

G 0 1 N 27/46

3 2 7 P

3 2 7 N

3 3 1

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平9-353304

(22) 出願日 平成9年(1997)12月22日

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市長瀬区須田町2番56号

(72) 発明者 加藤 伸秀

愛知県名古屋市長瀬区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 濱田 安彦

愛知県名古屋市長瀬区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 古久根 伸征

愛知県名古屋市長瀬区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

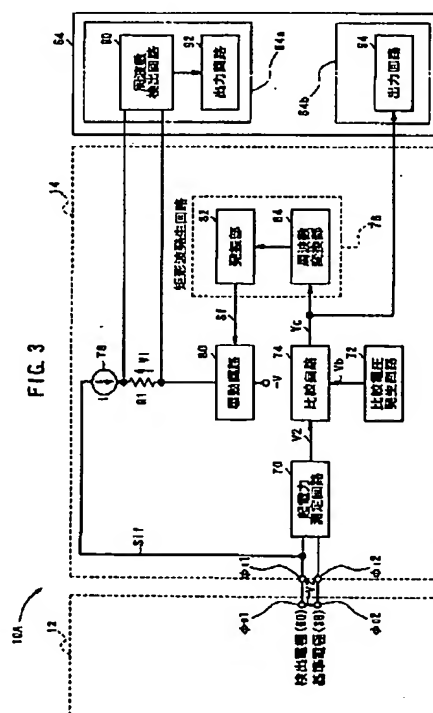
(74) 代理人 弁理士 千葉 剛宏 (外1名)

(54) 【発明の名称】 ガスセンサ及びその制御方法

(57) 【要約】

【課題】電氣的ノイズ等の影響を受けにくくして、高精度に所定のガス成分を測定できるようにする。

【解決手段】酸素イオンを伝導するイオン伝導体に電流供給回路14を通じて電流を流すことにより、酸素の濃度制御及び/又はNO_xの測定を行うガスセンサにおいて、電流供給回路14から出力される電流を波高値が一定とされたパルス波形(電流信号)S_{if}とし、更に、電流供給回路14に、電流信号S_{if}が供給されるイオン伝導体に発生する起電力V₂に基づいて前記電流信号S_{if}の周波数を制御するための矩形波発生回路76を設けて構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、

前記電流供給手段から出力される電流は、波高値が一定とされたパルス波形であり、

前記電流供給手段は、前記パルス波形の周波数を制御する周波数制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項2】請求項1記載のガスセンサにおいて、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗が直列接続されていることを特徴とするガスセンサ。

【請求項3】請求項2記載のガスセンサにおいて、前記抵抗は、センサ素子の性能に応じて選択あるいは調整されることを特徴とするガスセンサ。

【請求項4】請求項1～3のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、前記特定ガス成分が酸素であって、所定のガス成分が NO_x であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項5】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、

前記電流供給手段から出力される電流は、波高値が一定とされたパルス波形であり、

前記電流供給手段は、前記パルス波形のデューティ比を制御するデューティ比制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項6】請求項5記載のガスセンサにおいて、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗が直列接続されていることを特徴とするガスセンサ。

【請求項7】請求項6記載のガスセンサにおいて、前記抵抗は、センサ素子の性能に応じて選択あるいは調整されることを特徴とするガスセンサ。

【請求項8】請求項5～7のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、前記特定ガス成分が酸素であって、所定のガス成分が NO_x であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項9】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、

前記電流供給手段から出力される電流は、パルス波形であり、

前記電流供給手段は、前記パルス波形を有する電流の波高値を制御する波高値制御手段を有することを特徴とするガスセンサ。

【請求項10】請求項9記載のガスセンサにおいて、前記パルス波形の電流を電圧変換して、前記波高値を検

出することによって特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とするガスセンサ。

【請求項11】請求項10記載のガスセンサにおいて、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗が直列接続されていることを特徴とするガスセンサ。

【請求項12】請求項11記載のガスセンサにおいて、前記抵抗は、センサ素子の性能に応じて選択あるいは調整されることを特徴とするガスセンサ。

10 【請求項13】請求項9～12のいずれか1項に記載のガスセンサにおいて、前記特定ガス成分が酸素であって、所定のガス成分が NO_x であることを特徴とするガスセンサ。

【請求項14】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサの制御方法において、

前記イオン伝導体に供給される電流は、波高値が一定とされたパルス波形であり、

20 前記パルス波形の周波数を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とするガスセンサの制御方法。

【請求項15】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサの制御方法において、

前記イオン伝導体に供給される電流は、波高値が一定とされたパルス波形であり、

30 前記パルス波形のデューティ比を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とするガスセンサの制御方法。

【請求項16】特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサの制御方法において、

前記イオン伝導体に供給される電流はパルス波形であり、

前記パルス波形を有する電流の波高値を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とするガスセンサの制御方法。

【請求項17】請求項14～16のいずれか1項に記載の制御方法において、

前記特定ガス成分が酸素であって、所定のガス成分が NO_x であることを特徴とするガスセンサの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、車両の排気ガスや大気中に含まれる NO 、 NO_2 、 SO_2 、 CO 、 H_2O 等の酸化物や、 CO 、 C_nH_m 等の可燃ガスを測定するガスセンサ及びその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近時、特定のガス成分、例えば酸素を測定するために、 ZrO_2 固体電解質よりなる酸素イオン伝導体を用いた酸素ポンプに印加する電圧又は電流を制御し、所定の拡散抵抗のもとに酸素を汲み出し／汲み入れ、その際の限界電流を測定する酸素センサが広く知られている（例えば特開平8-271476号公報参照）。

【0003】また、酸素プロトンイオン伝導体を用いて、プロトンポンプを構成し、酸素センサと同様の原理で限界電流を測定し、 H_2 や H_2O を測定するセンサが知られている。

【0004】また、特定のガス成分として、例えば NO_x を測定する図15に示すような NO_x センサ200も知られている。

【0005】この NO_x センサ200は、被測定ガスを第1拡散律速部202を通して第1空所204に導き、内側ポンプ電極206／酸素イオン伝導体210／外側ポンプ電極208で構成される第1の酸素ポンプ手段212により、第1空所204で測定ガス中の酸素を、被測定ガスが分解しない程度に汲み出し又は汲み入れを行い、次いで、被測定ガスを第2拡散律速部214を通して第2空所216に導き、第2空所216に配置された測定ガス分解電極218／酸素イオン伝導体220／基準空気部222に配置された基準電極224で構成される第2の酸素ポンプ手段226により、測定ガス分解電極218の触媒作用により分解発生した酸素を汲み出し、この汲み出すに要した電流値を測定するセンサである。

【0006】即ち、これらのガスセンサは、その特定ガス成分のイオン電流にて検出したり、センサの内部空間の所定ガス濃度をイオン電流値を制御することにより確保している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これらのガスセンサは、被測定ガスの濃度が低くなると、ポンプ電流が小さくなり、その結果、検出が困難になったり、外部の電氣的ノイズによって大きく精度が損なわれたりする。

【0008】例えば、図15に示される NO_x センサ200においては、被測定ガス中の NO_x 濃度が10ppmになると0.05 μA 程度の信号レベルとなり、検出が困難になるばかりか、外部の電氣的ノイズにより大きく測定精度が損なわれるおそれがある。

【0009】そこで、本出願人は、第2空所216の酸素濃度を精度よく制御するために、図16に示すような NO_x センサ250を提案した。この NO_x センサ250は、第2空所216に補助ポンプ252を設けて、この補助ポンプ252に流れる電流が一定になるように第1空所204の制御酸素濃度を補正するというものであ

る（例えば特開平7-272816号、特開平8-121253号参照）。

【0010】この NO_x センサ250は、補助ポンプ電流が数 μA 以下と小さいことから、電氣的なノイズ等によって、第2空所216の制御酸素濃度の補正が思うようにいかない場合があることが判明した。

【0011】一方、これらのガスセンサは、限界電流を利用することによってガス成分の濃度制御や濃度測定を行っているため、限界電流値が変化すると出力が変化することとなる。この場合、センサ個体間において限界電流値等のばらつきがあるが、現在、このセンサ個体間のばらつきを補正するために、分流抵抗を設けたり、分圧抵抗を設けるようにしている。

【0012】図17は、その様子を示したものであるが、酸素ポンプ260に流れる電流を電流検出抵抗 R_a で検出するに際し、可変電源262から酸素ポンプ260への電流供給を調整抵抗 R_b （分流抵抗）を介して分流するようにしている。

【0013】例えば、ガスセンサの限界電流が大きいものについては分流抵抗 R_b を小さくして分流分を多くすることにより、電流検出抵抗 R_a で検出される電流分を少なくして所定の値にする。また、逆にガスセンサの限界電流が小さいものについては、分流分を少なくして電流検出抵抗 R_a で検出される電流を所定の値にするものである。

【0014】また、電流検出抵抗 R_a の両端に発生する電圧を分圧回路を用いて分圧し、所定の出力電圧を得る方法もある。

【0015】しかし、これらの方法（分流抵抗方式や分圧抵抗方式）を採用する場合には、リード線が1本余分に必要となり、それに伴って、制御回路とセンサを接続するコネクタも多端子にする必要があり、コスト上問題である。

【0016】本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、電氣的ノイズ等の影響を受けにくく、高精度に所定のガス成分を測定することができるガスセンサ及びガスセンサの制御方法を提供することを目的とする。

【0017】また、本発明の他の目的は、前記条件に加えて、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつきを補償することができ、製造コスト上、有利となるガスセンサ及びガスセンサの製造方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、前記電流供給手段から出力される電流を波高値が一定とされたパルス波形とし、前記電流供給手段に、前記

パルス波形の周波数を制御する周波数制御手段を設けて構成する。

【0019】これにより、電流供給手段から電流がイオン伝導体に供給されることによって特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定が行われることになる。

【0020】ここで、所定のガス成分の測定に関してみると、通常は、イオン伝導体に一定電圧を印加し、そのときにイオン伝導体に流れる特定ガス成分の量に応じた電流値を検出して所定のガス成分を測定する方法が採用されている。この場合、検出される電流値が非常に小さいため、外部の電氣的ノイズによって影響を受けやすいという問題がある。

【0021】一方、本発明では、イオン伝導体に供給される電流を波高値が一定とされたパルス波形とし、更に、このパルス波形の周波数を制御するようにしている。この場合、パルス波形であるため、直流的に電流を供給する場合よりも波高値を高くすることができ、電氣的ノイズ等の影響を受けにくくすることができる。しかも、周波数を測定値とすることにより、入力される起電力に対する出力ダイナミックレンジ（周波数域）を大きくとることが可能となり、測定感度の向上も図ることができる。

【0022】そして、前記構成において、前記電流供給手段の電源を定電圧源とし、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗を直列接続するようにしてもよい。この場合、定電圧源からの電圧が電流供給手段にてパルス状の電圧波形とされ、イオン伝導体には、電圧の波高値を直列抵抗の抵抗値で除算した値を波高値とするパルス状の電流が供給されることになる。つまり、イオン伝導体に供給されるパルス状の電流の波高値を直列抵抗の抵抗値を変えることによって調整することができる。この場合、前記直列抵抗をセンサ素子の性能に応じて選択あるいは調整することが好ましい。

【0023】これにより、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつき（波高値、出力のばらつき）を補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0024】なお、本発明に係るガスセンサは、被測定ガス中のNO_xを測定するNO_xセンサに使用して好適である。

【0025】また、本発明は、特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、前記電流供給手段から出力される電流を波高値が一定とされたパルス波形とし、前記電流供給手段に、前記パルス波形のデューティ比を制御するデューティ比制御手段を設けて構成する。

【0026】この発明では、イオン伝導体に供給される電流を波高値が一定とされたパルス波形とし、更に、前

記パルス波形のデューティ比を制御するようにしている。この場合も、パルス波形であるため、直流的に電流を供給する場合よりも波高値を高くすることができ、電氣的ノイズ等の影響を受けにくくすることができる。また、各パルス波形のパルス幅を測定値とすることにより、入力される起電力に対する出力ダイナミックレンジを大きくとることが可能となり、測定感度の向上も図ることができる。

【0027】そして、前記構成において、前記電流供給手段の電源を定電圧源とし、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗を直列接続するようにしてもよい。この場合、前記直列抵抗をセンサ素子の性能に応じて選択あるいは調整することが好ましい。これにより、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつきを補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0028】なお、この発明に係るガスセンサにおいても、被測定ガス中のNO_xを測定するNO_xセンサに使用して好適である。

【0029】また、本発明は、特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流供給手段を通じて電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサにおいて、前記電流供給手段から出力される電流をパルス波形とし、前記電流供給手段に、前記パルス波形を有する電流の波高値を制御する波高値制御手段を設けて構成する。

【0030】この発明では、イオン伝導体に供給される電流をパルス波形とし、更に、前記パルス波形の波高値を制御するようにしている。この場合も、直流的に電流を供給する場合よりも波高値を高くすることができ、電氣的ノイズ等の影響を受けにくくすることができる。その結果、入力される起電力に対する出力ダイナミックレンジを大きくとることが可能となり、測定感度の向上をも図ることができる。

【0031】なお、前記波高値を検出する場合は、パルス波形の電流を電圧変換して検出するようにしてもよい。

【0032】そして、前記構成において、前記イオン伝導体への電流供給ラインに抵抗を直列接続するようにしてもよい。この場合、前記直列抵抗をセンサ素子の性能に応じて選択あるいは調整することが好ましい。これにより、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつきを補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0033】なお、この発明に係るガスセンサにおいても、被測定ガス中のNO_xを測定するNO_xセンサに使用して好適である。

【0034】次に、本発明は、特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサの制御方法において、前記イオン伝導体に供給される電流を波高値が一定とされたパルス波形と

し、前記パルス波形の周波数を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とする。

【0035】また、本発明は、前記ガスセンサの制御方法において、前記イオン伝導体に供給される電流を波高値が一定とされたパルス波形とし、前記パルス波形のデューティ比を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とする。

【0036】また、本発明は、特定ガス成分のイオンを伝導するイオン伝導体に電流を流すことにより、特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うガスセンサの制御方法において、前記イオン伝導体に供給される電流をパルス波形とし、更に、前記パルス波形を有する電流の波高値を制御して前記特定ガス成分の濃度制御及び／又は所定のガス成分の測定を行うことを特徴とする。

【0037】これらの発明に係るガスセンサの制御方法においては、電気的ノイズ等の影響を受けにくく、高精度に所定のガス成分を測定することができる。また、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつきを補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0038】そして、これらガスセンサの制御方法においては、被測定ガス中のNO_xを測定するNO_xセンサに使用して好適である。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るガスセンサ及びその制御方法を例えば車両の排気ガスや大気中に含まれるNO、NO₂、SO₂、CO₂、H₂O等の酸化物や、CO、C_nH_m等の可燃ガスを測定するガスセンサに適用したいくつかの実施の形態例を図1～図14を参照しながら説明する。

【0040】まず、図1及び図2に示すように、第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aは、全体として、長尺な板状体形状に構成されたセンサ本体12と、センサ本体12に対してパルス状の電流信号を供給するための電流供給回路14を有して構成されている。

【0041】センサ本体12は、ZrO₂等の酸素イオン伝導性固体電解質を用いたセラミックによりなる例えば6枚の固体電解質層16a～16fが積層されて構成され、下から1層目及び2層目が第1及び第2の基板層16a及び16bとされ、下から3層目及び5層目が第1及び第2のスペーサ層16c及び16eとされ、下から4層目及び6層目が第1及び第2の固体電解質層16d及び16fとされている。

【0042】第2の基板層16bと第1の固体電解質層16dとの間には、酸化物測定の基準となる基準ガス、例えば大気を導入される空間（基準ガス導入空間18）が、第1の固体電解質層16dの下面、第2の基板層16bの上面及び第1のスペーサ層16cの側面によって区画、形成されている。

【0043】また、第1及び第2の固体電解質層16d及び16f間に第2のスペーサ層16eが挟設されると共に、第1及び第2の拡散律速部20及び22が挟設されている。

【0044】第2の固体電解質層16fの下面、第1及び第2の拡散律速部20及び22の側面並びに第1の固体電解質層16dの上面によって、被測定ガス中の酸素分圧を調整するための第1室24が区画、形成され、第2の固体電解質層16fの下面、第2の拡散律速部22の側面、第2のスペーサ層16eの側面並びに第1の固体電解質層16dの上面によって、被測定ガス中の酸素分圧を微調整し、更に被測定ガス中の酸化物、例えば窒素酸化物（NO_x）を測定するための第2室26が区画、形成される。

【0045】外部空間と前記第1室24は、第1の拡散律速部20を介して連通され、第1室24と第2室26は、前記第2の拡散律速部22を介して連通されている。

【0046】ここで、前記第1及び第2の拡散律速部20及び22は、第1室24及び第2室26にそれぞれ導入される被測定ガスに対して所定の拡散抵抗を付与するものであり、例えば、被測定ガスを導入することができる多孔質材料（例えばZrO₂等からなる多孔質体）又は所定の断面積を有した小孔からなる通路として形成することができる。また、印刷による多孔質層もしくは空隙層にて構成してもよい。なお、第1及び第2の拡散律速部20及び22における各拡散抵抗の大小関係は、ここでは問わないが、第2の拡散律速部22の拡散抵抗が第1の拡散律速部20より大きい方が好ましい。

【0047】前記第2の拡散律速部22を通じて、第1室24内の雰囲気ガスが所定の拡散抵抗の下に第2室26内に導入される。

【0048】また、前記第2の固体電解質層16fの下面のうち、前記第1室24を形づくる下面全面に、平面ほぼ矩形状の多孔質サーメット電極からなる内側ポンプ電極28が形成され、前記第2の固体電解質層16fの上面のうち、前記内側ポンプ電極28に対応する部分に、外側ポンプ電極30が形成されており、これら内側ポンプ電極28、外側ポンプ電極30並びにこれら両電極28及び30間に挟まれた第2の固体電解質層16fにて電気化学的なポンプセル、即ち、主ポンプセル32が構成されている。

【0049】そして、前記主ポンプセル32における内側ポンプ電極28と外側ポンプ電極30間に、外部の可変電源34を通じて所望の制御電圧（ポンプ電圧）V_{p0}を印加して、外側ポンプ電極30と内側ポンプ電極28間に正方向あるいは負方向にポンプ電流I_{p0}を流すことにより、前記第1室24内における雰囲気ガス中の酸素を外部の外部空間に汲み出し、あるいは外部空間の酸素を第1室24内に汲み入れることができるようになって

いる。

【0050】また、前記第1の固体電解質層16dの上面のうち、前記第1室24を形づくる上面であって、かつ第2の拡散律速部22に近接する部分に、平面ほぼ矩形形状の多孔質サーメット電極からなる測定電極36が形成され、前記第1の固体電解質層16dの下面のうち、基準ガス導入空間18に露呈する部分に基準電極38が形成されており、これら測定電極36、基準電極38及び第1の固体電解質層16dによって、電気化学的なセンサセル、即ち、制御用酸素分圧検出セル40が構成されている。

【0051】この制御用酸素分圧検出セル40は、第1室24内の雰囲気と基準ガス導入空間18内の基準ガス（大気）との間の酸素濃度差に基づいて、測定電極36と基準電極38との間に発生する起電力V1を電圧計42にて測定することにより、前記第1室24内の雰囲気中の酸素分圧が検出できるようになっている。

【0052】前記検出された酸素分圧値は、可変電源34のポンプ電圧Vp0をフィードバック制御系44を通じて制御するために使用され、具体的には、第1室24内の雰囲気中の酸素分圧が、次の第2室26において酸素分圧の制御を行い得るのに十分な低い所定の値となるように、主ポンプセル32のポンプ動作が制御される。

【0053】なお、前記内側ポンプ電極28、外側ポンプ電極30及び測定電極36は、第1室24内に導入された被測定ガス中のNOx、例えば、NOに対する触媒活性が低い不活性材料により構成される。

【0054】具体的には、前記内側ポンプ電極28及び外側ポンプ電極30は、多孔質サーメット電極にて構成することができ、この場合、Pt等の金属とZrO2等のセラミックスとから構成されることになるが、特に、被測定ガスに接触する第1室24内に配置される内側ポンプ電極28及び測定電極36は、被測定ガス中のNO成分に対する還元能力を弱めた、あるいは還元能力のない材料を用いる必要があり、例えばLa3CuO4等のペロブスカイト構造を有する化合物、あるいはAu等の触媒活性の低い金属とセラミックスのサーメット、あるいはAu等の触媒活性の低い金属とPt族金属とセラミックスのサーメットで構成されることが好ましい。更に、電極材料にAuとPt族金属の合金を用いる場合は、Au添加量を金属成分全体の0.03～35vol%にすることが好ましい。

【0055】一方、前記第2の固体電解質層16fの下面のうち、前記第2室26を形づくる下面全面には、平面ほぼ矩形形状の多孔質サーメット電極からなる補助ポンプ電極50が形成されており、該補助ポンプ電極50及び前記基準電極38並びに第2の固体電解質層16f、第2のスペーサ層16e及び第1の固体電解質層16dにて補助的な電気化学的ポンプセル、即ち、補助ポンプセル52が構成されている。

【0056】前記補助ポンプセル52における補助ポンプ電極50と基準電極38間に、外部の電源54を通じて所望の一定電圧Vp2を印加することにより、第2室26内の雰囲気中の酸素を基準ガス導入空間18に汲み出せるようになっている。これによって、第2室26内の雰囲気中の酸素分圧が、実質的に被測定ガス成分（NOx）が還元又は分解され得ない状況下で、かつ目的成分の測定に実質的に影響がない低い酸素分圧値とされる。この場合、第1室24における主ポンプセル32の働きにより、この第2室26内に導入される酸素の量の変化は、被測定ガスの変化よりも大幅に縮小されるため、第2室26における酸素分圧は精度良く一定に制御される。

【0057】また、この第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aにおいては、前記第1の固体電解質層16dの上面のうち、前記第2室26を形づくる上面であって、かつ第2の拡散律速部22から離間した部分に、平面ほぼ矩形形状の多孔質サーメット電極からなる検出電極60が形成されている。そして、該検出電極60、前記基準電極38及び第1の固体電解質層16dによって、電気化学的なポンプセル、即ち、測定用ポンプセル62が構成される。

【0058】前記検出電極60は、被測定ガス成分たるNOxを還元し得る金属であるRhとセラミックスとしてのジルコニアからなる多孔質サーメットにて構成され、これによって、第2室26内の雰囲気中に存在するNOxを還元するNOx還元触媒として機能するようになっている。

【0059】この場合、前記検出電極60と基準電極38との間に、検出電極60の周りの雰囲気と基準電極38の周りの雰囲気との間の酸素濃度差に応じた起電力（酸素濃度電池起電力）V2が発生する。従って、この第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aでは、前記検出電極60及び基準電極38間に発生する起電力V2を電流供給回路14を通じて測定系64にて測定することで、検出電極60の周りの雰囲気中の酸素分圧、換言すれば、被測定ガス成分（NOx）の還元又は分解によって発生する酸素によって規定される酸素分圧が電気信号として検出されるようになっている。

【0060】センサ本体12の外部には、検出電極60に電気的に接続された第1の外部出力端子φo1と、基準電極38に電気的に接続された第2の外部出力端子φo2がそれぞれ導出され、図3に示すように、これら第1及び第2の外部出力端子φo1及びφo2が電流供給回路14の第1及び第2の入力端子φi1及びφi2にそれぞれ接続されることでセンサ本体12と電流供給回路14とが電気的に接続されるようになっている。

【0061】また、この実施の形態に係るガスセンサ10Aにおいては、図2に示すように、第1及び第2の基板層16a及び16bにて上下から挟まれた形態におい

11

て、外部からの給電によって発熱するヒータ66が埋設されている。このヒータ66は、酸素イオンの導伝性を高めるために設けられるもので、該ヒータ66の上下面には、第1及び第2の基板層16a及び16bとの電気的絶縁を得るために、アルミナ等の絶縁層68が形成されている。

【0062】前記ヒータ66は、第1室24から第2室26の全体にわたって配設されており、これによって、第1室24及び第2室26がそれぞれ所定の温度に加熱され、併せて主ポンプセル32、制御用酸素分圧検出セル40及び測定用ポンプセル62も所定の温度に加熱、保持されるようになっている。

【0063】そして、この第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aにおける電流供給回路14は、図3に示すように、検出電極60と基準電極38間に発生する起電力V2を測定する起電力測定回路70と、該起電力測定回路70にて測定された起電力V2と比較電圧発生回路72からの比較電圧Vb（例えば450mV）との差分をとり、該差分を所定のゲイン（例えば100倍）にて増幅して測定電圧Vcとして出力する比較回路74と、該比較回路74からの測定電圧Vcのレベルに応じた周波数の矩形波信号Sfを出力する矩形波発生回路76と、定電流源78からの定電流iを前記矩形波発生回路76からの矩形波信号Sfに基づいてON-OFF制御する駆動回路80とを有して構成されている。

【0064】前記矩形波発生回路76は、所定の波高値で、かつ所定のパルス幅を有する矩形波を発生する発振部82と、前記比較回路74からの測定電圧Vcのレベルに応じて前記発振部82の発振周波数を制御する周波数変換部84を有し、この矩形波発生回路76からは、起電力V2の値に基づく周波数を有する矩形波信号Sfが得られるようになっている。

【0065】ここで、前記矩形波のパルス幅は例えば10μsecに固定され、波高値は駆動回路80にて定電流iをON-OFF制御するために必要なレベルを有する。また、前記周波数変換部84は、起電力V2の値が比較電圧Vbのレベルよりも低くなればなるほど周波数が高くなるように回路が構成されている。

【0066】検出電極60につながる第1の入力端子φi1と負電源(-V)との間には、前記定電流源78と駆動回路80が接続され、該駆動回路80によるON制御の期間（即ち、矩形波信号Sfのパルス幅に相当する期間）においてのみ前記基準電極38から検出電極60に向かって定電流iが流れる。

【0067】つまり、駆動回路80による定電流iに対するON-OFF制御によって、矩形波信号Sfのパルス幅に相当する期間で波高値が所定の値（例えば500μA）とされ、それ以外の期間で波高値が例えば0μAとされたパルス状の電流信号Sifとなる（図5の波形b参照）。

12

【0068】従って、前記定電流iは、矩形波発生回路76から出力される矩形波信号Sfのパルス幅に相当する期間において、前記基準電極38から検出電極60に向かって流れ、定電流iの波高値（例えば500μA）×矩形波信号Sfのパルス幅で示される電気量に対応する量の酸素が第2室26から基準ガス導入空間18にボンピングされる。

【0069】このボンピングによって第2室26の酸素分圧が変化し、その変化が検出電極60と基準電極38間の起電力V2として前記起電力測定回路70にて測定され、その起電力V2に応じた周波数を有する矩形波信号Sfが駆動回路80に供給されて、該矩形波信号Sfのパルス幅に相当する期間に前記定電流iが前記基準電極38から検出電極60に向かって流れることになる。

【0070】図4の特性は、第1の実施の形態に係るガスセンサ10AのNO濃度に対する矩形波信号Sfの周波数との関係を示している。この特性から、NO濃度に応じて直線的に周波数が増加しており、NO濃度を測定できることが理解できる。

【0071】一方、測定系64は、図3に示すように、例えば2種類の回路が考えられ、第1の測定系64aは、駆動回路80によってON-OFF制御される定電流iを電圧信号Viとして取り出すための抵抗R1と該抵抗R1を通じて取り出された電圧信号Viの周波数を検出する周波数検出回路90と、該周波数検出回路90にて検出された周波数値を例えば図4の特性等に基づいてNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路92とを有して構成したものであり、第2の測定系64bは、比較回路74からの測定電圧VcをNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路94で構成したものである。

【0072】第2の測定系64bは次の理由に基づく。即ち、周波数の測定は、第1の測定系64aのように、定電流iの流れるタイミングを検出してその周波数を測定してもよいが、矩形波発生回路76の周波数変換部に入る電圧、つまり、検出電極60と基準電極38間の起電力V2と比較電圧発生回路72からの比較電圧Vbとの差に基づく測定電圧Vcが制御のための周波数を直接表しており、この測定電圧Vcを検出することでパルス状の電流信号Sifの周波数を測定したと等価になるからである。特に、この第2の測定系64bにおいては、パルス状の電流信号Sifの周波数を測定するための専用の回路が不要になり、回路構成の簡略化を有効に図ることができる。

【0073】この第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aは、基本的には以上のように構成されるものであり、次にその作用効果について説明する。

【0074】まず、ガスセンサ10Aの基準電極38と検出電極60間の起電力V2が起電力測定回路70により測定される。この起電力V2は比較回路74において

13

比較電圧Vbと比較される。比較回路74は起電力V2と比較電圧Vbとの差分をとり、更にこの差分を所定ゲインにて増幅して測定電圧Vcとして出力する。

【0075】前記測定電圧Vcは、矩形波発生回路76から出力される矩形波信号Sfの周波数を調整するための周波数変換部84に導かれ、該周波数変換部84は前記測定電圧Vcに基づいて発振部82の発振周波数を制御する。これによって、起電力V2の値に基づく周波数を有する矩形波の信号Sfが得られる。

【0076】前記矩形波発生回路76から出力される矩形波信号Sfは駆動回路80に導かれる。該駆動回路80は、矩形波信号Sfに基づいて定電流源78からの定電流iをON-OFF制御し、矩形波信号Sfのパルス幅に相当する期間においてのみ定電流iを流し、それ以外の期間は定電流iの流れを停止させるという処理を行う。これによって、基準電極38から検出電極60に向かってパルス状の電流信号Sifが流れることになる。

【0077】そして、第1の測定系64aにおいては、前記抵抗R1にて検出される電圧信号Viの周波数が周波数検出回路90にて検出され、該周波数検出回路90にて検出された周波数値が出力回路92においてNOx濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。第2の測定系64bにおいては、比較回路74からの測定電圧Vcが出力回路94においてNOx濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。

【0078】このように、第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aにおいては、検出電極60と基準電極38間に発生する起電力V2に基づいて周波数制御されたパルス状の電流信号Sifを基準電極38から検出電極60に向かって流すようにしたので、次のような効果を得ることができる。

【0079】従来の測定方法では、例えば1000ppmの濃度に対して、ガスセンサのポンプ電流が5μAと低い電流値でしか検出できず、電流が小さいために外部の電気的ノイズの影響を受けやすかったが、第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aでは、測定系64（例えば第1の測定系64a）において、500μAの波高値をもつパルス状の電流信号Sifの周波数を測定するため、例えば仕切値を250μAにして前記電流信号Sifの周波数を測定すれば、ノイズ成分が例えば100μA相当であっても正確にNOx濃度を測定できる。

【0080】次に、上述した第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aの具体例について、直流電流を基準電極38から検出電極60に向かって流すようにした場合と比較して説明する。

【0081】まず、直流電流を流す場合においては、図5の波形aに示すように、例えば1000ppmのNO濃度に対して5μAの直流電流となる。

【0082】ここで、1secの時間に注目すると、直流電流を流す場合は、 $5\mu A \cdot sec = 5\mu$ クーロンの

14

電気量となっている。一方、第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aにおいては、この電気量（5μクーロン）と等価な電気量をもつパルス状の電流信号Sif（波形b参照）を基準電極38から検出電極60に向かって流し、併せて例えば周波数検出回路90にて単位時間における電圧信号Viのパルス数をカウントする。つまり、直流電流における直流値（5μA）×単位時間（1sec）と同じ値となるように、電流信号Sif（正確には矩形波信号Sf）のパルスの周波数を制御するわけである。

【0083】前記具体例の場合、1つのパルスのもつ電気量は $10\mu sec \times 500\mu A = 5000 \times 10^{-6} \mu$ クーロン $= 5 \times 10^{-3} \mu$ クーロンで直流の場合の1/1000であり、従って、1secの時間に1000個のパルス、即ち、1kHzの周波数を有するパルス状の電流信号Sifを流せば、目標とするボンピング（第2室26の酸素分圧を比較電圧Vbに相当する酸素分圧とするためのボンピング）を行うことができ、同時に、NO濃度を電気的なノイズの影響を受けることなく高精度に測定することができる。

【0084】ところで、センサ本体12は、その製造ばらつき等によって限界電流の大きいものや小さいものが存在する。限界電流の大きいセンサ本体12は、限界電流の小さいセンサ本体と比して、同じNOx濃度を測定したときに、高い周波数の電流信号Sifとなり、測定誤差を生む可能性がある。

【0085】これを解決するために、従来からの方法では、分流抵抗方式や分圧抵抗方式などがあるが、いずれもリード線を増やす必要があり、コスト上不利になるという不都合がある。

【0086】次の第1の実施の形態に係るガスセンサ10Aの変形例（10Aa）は、このような問題を解決することができるガスセンサであり、該ガスセンサ10Aaについて図6を参照しながら説明する。なお、図3と対応するものについては同符号を記す。

【0087】この変形例に係るガスセンサ10Aaは、図6に示すように、前記第1の実施の形態に係るガスセンサ10A（図3参照）とはほぼ同じ構成を有するが、電流供給回路14からの前記電流信号Sifの供給ラインに調整用抵抗Rcが直列接続されている点で異なる。図示の例では、センサ本体12における検出電極60と第1の外部出力端子φo1との間に調整用抵抗Rcが直列接続されている。

【0088】ここで、駆動回路80における負電源（-V）の電位を例えば-5Vに設定して基準電極38と検出電極60間の電圧を例えば5Vとし、調整用抵抗Rcの値を例えば10kΩに設定し、センサ本体12における検出電極60と基準電極38間の交流に対するインピーダンスを約300Ωに設定した場合を考える。

【0089】なお、検出電極60と基準電極38間の直

15

流に対するインピーダンスは、約2k Ω であるが、周波数の高い交流、例えば10kHz以上になると、その1/5~1/10になり、高周波成分を多く含む矩形波信号に対しても、前記インピーダンスは直流の場合よりも十分に小さくなる。即ち、前記インピーダンスは調整用抵抗Rcに対して十分に無視できる程度の値となる。

【0090】これにより、電流供給回路14の駆動によって基準電極38から検出電極60に向かって流れる電流信号Sifは、波高値が500 μ Aのパルス波を有する電流信号Sifになり、この波高値は調整用抵抗Rcの大きさによって決定付けられる。

【0091】従って、センサ本体12の限界電流が大きいもの、例えば直流電流の供給で測定した際に、例えば1000ppmのNOx濃度に対して例えば7 μ Aの直流電流を流すガスセンサに対しては、調整用抵抗Rcの抵抗値を下げて、基準電極38と検出電極60間に流れる定電流iの値を例えば700 μ Aに設定すれば、1000ppmのNO濃度に対して5 μ Aを流すガスセンサと同様となる。

【0092】このように、この変形例に係るガスセンサ10Aaにおいては、調整用抵抗Rcの値を変えるだけで、NOx濃度に対するパルス周波数の関係はセンサ本体12間のばらつき（感度のばらつき等）に関係なく一定に保持できることにつながり、従来の分圧抵抗方式や分圧抵抗方式を採用する必要がなくなる。

【0093】即ち、この変形例に係るガスセンサ10Aaにおいては、リード線や端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつき（波高値、出力のばらつき）を補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0094】次に、第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bについて図7を参照しながら説明する。なお、図3と対応するものについては同符号を記す。

【0095】この第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bは、図7に示すように、前記第1の実施の形態に係るガスセンサ10A（図3参照）とほぼ同じ構成を有するが、電流供給回路14における矩形波発生回路76が、所定の波高値で、かつ所定のパルス幅を有する矩形波を発生する発振部100と、該発振部100から出力されるパルス信号のデューティ比（ON/OFF時間の比率）を前記比較回路74からの測定電圧Vcのレベルに応じて制御するデューティ比変換部102を有する点で異なり、この矩形波発生回路76からは、起電力V2の値に基づくデューティ比を有する矩形波信号Sdが得られるようになっている。

【0096】発振部100から出力されるパルス信号の周波数は例えば100Hzに固定され、波高値は、後段の駆動回路80にて定電流iをON-OFF制御するために必要なレベルを有する。また、前記デューティ比変換部102は、起電力V2の値が比較電圧Vbのレベルよりも低くなればなるほどデューティ比が高くなるよう

16

に（パルス幅Pw（図9参照）の期間が長くなるように）回路が構成されている。

【0097】つまり、駆動回路80による定電流iに対するON-OFF制御によって、矩形波信号Sdのパルス幅Pwに相当する期間が所定の波高値（例えば100 μ A）とされ、それ以外の期間で波高値が例えば0 μ Aとされたパルス状の電流信号Sidとなる（図9の波形d参照）。この電流信号Sidの周波数は、発振部100から出力されるパルス信号が100Hzであるため、同じ100Hzに固定される。

【0098】図8の特性は、第2の実施の形態に係るガスセンサ10BのNO濃度に対する電流信号Sidのデューティ比の関係を示している。この特性から、NO濃度に応じて直線的にデューティ比（ON時間）が増加しており、NO濃度を測定できることが理解できる。

【0099】測定系64は、この第2の実施の形態においても例えば2種類の回路が考えられ、図7に示すように、第1の測定系64aは、抵抗R1にて取り出される電圧信号Viのデューティ比（例えばパルス幅Pw）を検出するデューティ比検出回路104と、該デューティ比検出回路104にて検出されたデューティ比を例えば図8の特性等に基づいてNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路106とを有して構成したものである。

【0100】一方、第2の測定系64bは、比較回路74からの測定電圧VcをNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路94で構成したものである。デューティ比の測定は、第1の測定系64aのように、電圧信号Viを検出してそのデューティ比を測定してもよいが、矩形波発生回路76のデューティ比変換部102に入る電圧、つまり、検出電極60と基準電極38間の起電力V2と比較電圧発生回路72からの比較電圧Vbとの差に基づく測定電圧Vcが直接デューティ比を表しており、この測定電圧Vcを検出することでパルス状の電流信号Sidのデューティ比を測定したと同等になるからである。従って、この第2の測定系64bにおいては、電圧信号Viのデューティ比を測定するための専用の回路が不要になり、回路構成の簡略化を有効に図ることができる。

【0101】この第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bは、基本的には以上のように構成されるものであり、次にその作用効果について説明する。

【0102】まず、ガスセンサ10Bの基準電極38と検出電極60間の起電力V2が起電力測定回路70により測定される。この起電力V2は比較回路74において比較電圧Vbと比較される。比較回路74は起電力V2と比較電圧Vbの差分をとり、更にこの差分を所定ゲインにて増幅して測定電圧Vcとして出力する。

【0103】前記測定電圧Vcは、矩形波発生回路76から出力される矩形波信号Sdのデューティ比を調整す

るためのデューティ比変換部102に導かれ、該デューティ比変換部102は、発振部100から出力されるパルス信号のデューティ比(パルス幅Pw)を前記測定電圧Vcに基づいて制御する。これによって、起電力V2の値に基づくデューティ比を有する矩形波の信号Sdが得られる。

【0104】前記矩形波発生回路76から出力される矩形波信号Sdは駆動回路80に導かれる。該駆動回路80は、矩形波信号Sdに基づいて定電流iをON-OFF制御し、矩形波信号Sdのパルス幅Pwに相当する期間においてのみ定電流iを流し、それ以外の期間は定電流iの流れを停止させるという処理を行い、これによって、基準電極38から検出電極60に向かってパルス状の電流信号Sidが流れることになる。

【0105】そして、第1の測定系64aにおいては、前記抵抗R1にて検出される電圧信号Viのデューティ比がデューティ比検出回路104にて検出され、該デューティ比検出回路104にて検出されたデューティ比が出力回路106においてNOx濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。第2の測定系64bにおいては、比較回路74からの測定電圧Vcが出力回路94においてNOx濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。

【0106】このように、第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bにおいては、検出電極60と基準電極38間に発生する起電力V2に基づいてデューティ比が制御されたパルス状の電流信号Sidを基準電極38から検出電極60に向かって流すようにしたので、次のような効果を得ることができる。

【0107】従来の測定方法では、例えば1000ppmの濃度に対して、ガスセンサのポンプ電流が5μAと低い電流値でしか検出できず、電流が小さいために外部の電氣的ノイズの影響を受けやすかったが、この第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bでは、測定系64において、周波数が例えば100Hzで100μAの波高値を有するパルス状の電流信号Sidのデューティ比、即ちパルス幅Pwという時間を測定するため、ノイズの影響を受けにくく正確にNOx濃度を測定することができる。

【0108】次に、上述した第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bの具体例について、直流電流を基準電極38から検出電極60に向かって流すようにした場合と比較して説明する。

【0109】まず、直流電流を流す場合においては、図9の波形cに示すように、例えば1000ppmのNO濃度に対して5μAの直流電流となる。

【0110】ここで、発振部100から出力されるパルス信号の1周期=10msecに注目すると、直流電流を流す場合は、 $5\mu A \cdot 10msec = 50 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec = 50 \times 10^{-3} \mu$ クーロンの電気量となっている。

【0111】一方、第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bにおいては、この電気量($50 \times 10^{-3} \mu$ クーロン)と等価な電気量をもつパルス状の電流信号Sidを基準電極38から検出電極60に向かって流し、併せて例えばデューティ比検出回路104にて電圧信号Viのパルス幅Pwを測定する。つまり、直流電流における直流値($5\mu A$)×単位時間(10msec)と同じ値となるように、電流信号Sid(正確には矩形波信号Sd)のパルスのデューティ比、換言すればパルス幅Pwを制御するわけである。

【0112】前記具体例の場合、 $50 \times 10^{-3} \mu$ クーロンの電気量と等価なパルス幅Pwは、 $(50 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec) / 100 \mu A = 0.5msec$ であり、デューティ比は $0.5msec / 10msec$ で1/20である。従って、1/20のデューティ比のパルス信号、即ち、0.5msecのパルス幅Pwを有するパルス状の電流信号Sidを流せば、目標とするポンピング(第2室26の酸素分圧を比較電圧Vbに相当する酸素分圧とするためのポンピング)を行うことができ、同時に、NO濃度を電氣的なノイズの影響を受けることなく高精度に測定することができる。

【0113】次に、第2の実施の形態に係るガスセンサ10Bの変形例(10Ba)について図10を参照しながら説明する。なお、図7と対応するものについては同符号を記す。

【0114】センサ本体12は、その製造ばらつき等によって限界電流の大きいものや小さいものが存在するが、限界電流の大きいセンサ本体12は、限界電流の小さいセンサ本体12と比して、同じNOx濃度を測定したときに、高いデューティ比(長いパルス幅Pw)となり、測定誤差を生む可能性がある。

【0115】この変形例に係るガスセンサ10Baは、センサ本体12の個体間のばらつきによる測定上の誤差をなくすものである。この変形例に係るガスセンサ10Baは、図10に示すように、前記第2の実施の形態に係るガスセンサ10B(図7参照)とほぼ同じ構成を有するが、電流供給回路14からの前記電流信号Sidの供給ラインに調整用抵抗Rcが直列接続されている点で異なる。図示の例では、センサ本体12における検出電極60と第1の外部出力端子φo1との間に調整用抵抗Rcが接続されている。

【0116】ここで、駆動回路80における負電源の電位を例えば-5Vに設定して基準電極38と検出電極60間の電圧を例えば5Vとし、調整用抵抗Rcの値を例えば50kΩに設定し、センサ本体12における検出電極60と基準電極38間の交流に対するインピーダンスを約300Ωに設定した場合を考えると、電流供給回路14の駆動によって基準電極38から検出電極60に向かって流れる電流は、周波数が100Hz、波高値が100μAのパルスをもつ電流信号Sidになり、この

波高値は調整用抵抗 R_c の大きさによって決定付けられる。

【0117】従って、センサ本体12の限界電流が大きいもの、例えば直流電流の供給で測定した際に、例えば1000ppmのNOx濃度に対して7 μ Aの直流電流を流すガスセンサに対しては、調整用抵抗 R_c の抵抗値を下げて、基準電極38と検出電極60間に流れる定電流 i の値を140 μ Aに設定すれば、1000ppmのNO濃度に対して5 μ Aを流すガスセンサと同様となる。

【0118】このように、この変形例に係るガスセンサ10Baにおいては、調整用抵抗 R_c の値を変えるだけで、NOx濃度に対するパルス周波数の関係はセンサ本体12間のばらつき（感度のばらつき等）に関係なく一定に保持できることにつながり、従来の分流抵抗方式や分圧抵抗方式を採用する必要がなくなる。

【0119】即ち、この変形例に係るガスセンサ10Baにおいては、リード線や端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつき（波高値、出力のばらつき）を補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【0120】次に、第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cについて図11～図14を参照しながら説明する。なお、図3と対応するものについては同符号を記す。

【0121】この第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cは、図11に示すように、前記第1の実施の形態に係るガスセンサ10A（図3参照）とほぼ同じ構成を有するが、電流供給回路14の構成が以下の点で異なる。

【0122】即ち、この電流供給回路14は、図11に示すように、検出電極60と基準電極38間に発生する起電力 V_2 を測定する起電力測定回路70と、該起電力測定回路70にて測定された起電力 V_2 と比較電圧発生回路72からの比較電圧 V_b （例えば450mV）との差分をとり、電圧信号 S_a として出力する比較回路74と、前記比較回路74からの電圧信号 S_a を例えば500倍に増幅して測定電圧信号 S_v とする増幅回路110と、周波数が1kHzでデューティ比が例えば1/1000のパルス信号（ON期間：1 μ sec、OFF期間：999 μ sec） S_p を生成する矩形波発生回路112と、増幅回路110からの測定電圧信号 S_v を矩形波発生回路112からのパルス信号 S_p （矩形波）に基づいてON-OFF制御する駆動回路114とを有して構成されている。

【0123】駆動回路114の出力ラインは、第2の入力端子 ϕ_i2 に接点 e を介して電気的に接続されて、前記駆動回路114から出力される電圧に応じた電流 i_v が基準電極38に供給されるように構成されている。この電流 i_v は、駆動回路114と第2の入力端子 ϕ_i2 間に挿入接続された電流検出抵抗 R_2 （例えば10k Ω ）を通じて電圧 V_i として検出されるようになってい

る。

【0124】そして、前記駆動回路114からは、一定の周波数及び一定のデューティ比であって、かつ、起電力 V_2 の値に基づく電圧レベルを有するパルス状の駆動信号 S_{vp} （電圧信号）が得られることとなる。

【0125】つまり、増幅回路110からの出力（測定電圧信号 S_v ）に対する駆動回路114のON-OFF制御によって、前記駆動回路114からの出力は、矩形波発生回路112からのパルス信号 S_p のパルス幅に相当する期間が前記起電力 V_2 に基づく波高値とされ、それ以外の期間で波高値が例えば0 μ Aとされたパルス状の駆動信号 S_{vp} （電圧信号）となり（図13の波形 g 参照）、この駆動信号 S_{vp} に応じた電流 i_v が基準電極38に供給されることになる。なお、前記駆動信号 S_{vp} の周波数は、矩形波発生回路112から出力されるパルス信号 S_p が1kHzであるため、同じ1kHzに固定される。

【0126】図12の特性は、第3の実施の形態に係るガスセンサのNO濃度に対する電流 i_v の波高値（電流 i_v を電圧変換した後の電圧 V_i ）の関係を示している（実線A参照）。この特性から、NO濃度に応じて直線的に電流 i_v の波高値（電圧 V_i ）が増加しており、NO濃度を測定できることが理解できる。

【0127】測定系64は、この第3の実施の形態においても例えば2種類の回路が考えられ、第1の測定系64aは、電流検出抵抗 R_2 にて取り出される電圧 V_i （電流 i_v の波高値に応じた電圧）を検出してそのピーク値や平均値を出力する電圧検出回路116と、該電圧検出回路116からの出力（ピーク値や平均値）を例えば図12の特性等に基づいてNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路118とを有して構成したものであり、第2の測定系64bは、増幅回路110からの測定電圧信号 S_v をNO濃度に換算して濃度値としてデジタル表示等を行う出力回路120で構成したものである。

【0128】この第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cは、基本的には以上のように構成されるものであり、次にその作用効果について説明する。

【0129】まず、ガスセンサ10Cの基準電極38と検出電極60間の起電力 V_2 が起電力測定回路70により測定される。この起電力 V_2 は比較回路74において比較電圧 V_b と比較され、該比較回路74からは、前記起電力 V_2 と比較電圧 V_b との差分が電圧信号 S_a として出力される。この電圧信号 S_a は後段の増幅回路110において所定ゲイン（例えば500倍）に増幅されて測定電圧信号 S_v とされる。

【0130】前記測定電圧信号 S_v は駆動回路114に導かれ、該駆動回路114は入力される測定電圧信号 S_v を矩形波発生回路112からのパルス信号 S_p に基づいてON-OFF制御する。これによって、起電力 V_2

21

の値に基づく電圧レベルを有するパルス状の駆動信号 S_{vp} （電圧信号）が得られ、この駆動信号 S_{vp} に応じた電流 i_v が基準電極38に供給される。このとき、前記駆動信号 S_{vp} のパルス幅に相当する期間において、該駆動信号 S_{vp} の電圧及び基準電極38と検出電極60間のインピーダンスで決まる電流 i_v が基準電極38と検出電極60間に流れる。即ち、基準電極38と検出電極60間にパルス状の電流 i_v が流れることになる。

【0131】そして、第1の測定系64aにおいては、電流検出抵抗 R_2 にて取り出される電圧 V_i （電流 i_v の波高値）が電圧検出回路116にて検出されてそのピーク値や平均値として出力され、そのピーク値や平均値が後段の出力回路118において NO_x 濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。第2の測定系64bにおいては、増幅回路110からの測定電圧信号 S_v が出力回路120において NO_x 濃度に換算されてデジタル表示等が行われる。

【0132】このように、第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cにおいては、検出電極60と基準電極38間に発生する起電力 V_2 に基づいて波高値が制御されたパルス状の電流 i_v を基準電極38に供給するようにしたので、次のような効果を得ることができる。

【0133】従来の測定方法では、図12の特性において破線Bに示すように、例えば0~1000ppmの濃度変化に対して、基準電極38と検出電極60間の電圧（ポンプ電圧）が450mV~460mV（基準電極38と検出電極60間の直流インピーダンス $10k\Omega \times 5\mu A = 10mV$ 分の増加）というように、低い変化でしか検出できないが、第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cでは、図12の特性において実線Aに示すように、450mV~1950mV（基準電極38と検出電極60間の交流インピーダンス $300\Omega \times 5000\mu A = 1500mV$ 分の増加）という大きな変化となっており、ノイズの影響を受けにくく正確に NO_x 濃度を測定することができる。

【0134】次に、上述した第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cの具体例について、直流電流を基準電極38に供給するようにした場合と比較して説明する。ここでの説明は、基準電極38に供給される電流 i_v を電圧変換した後の電圧 v_i で比較した場合を示す。

【0135】まず、直流電流を流す場合においては、図13の波形fに示すように、起電力450mV+基準電極38と検出電極60間の直流インピーダンスと基準電極38と検出電極60間に流れるポンプ電流に基づく電圧降下 $2k\Omega \times 5\mu A$ （1000ppm）=450mV+10mVで、そのうち、起電力分を除くと10mVの電圧が実質的に酸素のポンピングに利用される電圧である。

【0136】ここで、矩形波発生回路112から出力されるパルス信号 S_p の1周期=1msecに注目すると

22

直流電流の場合は、 $5\mu A \times 1msec = 5 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec = 5 \times 10^{-3}$ クーロンの電気量（酸素がポンピングされる量に対応）となっている。

【0137】一方、第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cにおいては、この電気量（ 50×10^{-3} クーロン）と等価な電気量をもつパルス状の駆動信号 S_{vp} に応じた電流 i_v を基準電極38に供給し、併せて例えば電圧検出回路116にて電流 i_v の波高値（ピーク値や平均値）を電圧変換して測定する。つまり、直流電流における電圧変換後の直流値（10mV）×単位時間（1msec）と同じ値となるように、電流 i_v の波高値を制御するわけである。

【0138】前記具体例の場合、 $5 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec$ の電気量と等価な電気量は $(V/R) \times 1\mu sec$ であり、ここで、 R は基準電極38と検出電極60間の内部抵抗であるが、直流の場合の値 $2k\Omega$ とは大きく異なり、交流インピーダンスとしての 300Ω となっているため、 $(V/300) \times 1\mu sec$ である。

【0139】この電気量が $5 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec$ と等しくなるように V が定まるから、 $V = 5 \times 10^{-3} \mu A \cdot sec / (1/300) \times 1\mu sec = 1500mV$ となる。

【0140】従って、周波数が1kHz、パルス幅が $1\mu sec$ 、波高値が1500mVのパルス状の駆動信号 S_{vp} （電圧信号）を駆動回路114から出力させるようにすれば、第2室26において目標とするポンピング（第2室26の酸素分圧を比較電圧 V_b に相当する酸素分圧とずらすためのポンピング）を行うことができ、同時に、 NO 濃度を電氣的なノイズの影響を受けることなく高精度に測定することができる。

【0141】次に、第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cの変形例（10Ca）について図14を参照しながら説明する。なお、図11と対応するものについては同符号を記す。

【0142】この変形例に係るガスセンサ10Caは、図14に示すように、前記第3の実施の形態に係るガスセンサ10C（図11参照）とはほぼ同じ構成を有するが、電流供給回路14から基準電極38への電流供給ラインに調整用抵抗 R_c が直列接続されている点で異なる。図示の例では、センサ本体12における基準電極38と第2の外部出力端子 ϕ_2 との間に調整用抵抗 R_c が接続されている。

【0143】この変形例に係るガスセンサ10Caによれば、調整用抵抗 R_c の大きさをセンサ本体12における限界電流値の個体間のばらつきに応じて調整することにより、 NO_x 濃度と駆動信号 S_{vp} の電圧との関係を一定に保つことができるのみならず、 NO_x 濃度の変化に対する駆動信号 S_{vp} の電圧の変化を更に大きくすることができるという効果がもたらされる。

【0144】例えば、調整用抵抗 R_c として $1k\Omega$ を設

23

定したとすると、上述の例の場合、駆動信号 S_{vp} のデューティ比が $1/1000$ であるから、基準電極38と検出電極60間に流れるポンプ電流 i_v としては $5\mu A$ の 1000 倍、即ち、 $5mA$ のパルス状の電流 i_v が流れ、調整用抵抗 R_c で $5V$ の電圧降下が起こり、駆動信号 S_{vp} の電圧は、ほぼ $5V+1.5V$ （基準電極38と検出電極60間の内部抵抗による電圧降下） $+450mV$ （起電力） $=6.95V$ となる。

【0145】 NO_x 濃度が $0ppm$ の場合は $450mV$ であり、 NO_x 濃度が $0\sim1000ppm$ の変化に対して $6.5V$ という大きな変化として検出することができる。

【0146】そして、センサ本体12における限界電流値の個体間のばらつきに関しては、限界電流が大きいセンサ本体12、例えば直流電流の供給で測定した際に、例えば $1000ppm$ の NO_x 濃度に対して $7\mu A$ の直流電流を流すセンサ本体12に対しては、調整用抵抗 $R_c = (6.5V - 300\Omega \times 7mA) / 7mA = (4.4 \times 1000 / 7) = 629\Omega$ とすることにより、 $1000ppm$ 時の電圧を $6.5V + 450mV = 6.95V$ とすることができる。

【0147】このように、前記駆動回路114から出力されるパルス状の駆動信号 S_{vp} に応じた電流 i_v を基準電極38に供給することにより、 NO_x 濃度に対する電圧 v_i の変化（即ち、電流 i_v の波高値の変化）は、直流電流で測定した場合の数 100 倍という高い電圧変化にすることができ、電氣的ノイズの影響を受けにくいという効果が得られるばかりでなく、センサ本体12の個体間のばらつきをも効果的に補償することができる。

【0148】前記第1～第3の実施の形態に係るガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）においては、矩形波発生回路76及び112から出力されるパルス信号のパルス形状を矩形波としたが、その他、台形波、三角波、正弦波（半波）等、どのような波形でもよい。

【0149】また、起電力測定回路70には、平滑回路を設けることが好ましい。この場合、平滑回路の時定数 τ としては、矩形波発生回路76及び112から出力されるパルス信号におけるパルス周期の 10 倍以上とすることが好ましい。

【0150】また、矩形波発生回路76及び112から出力されるパルス信号の周波数の下限値としては、ガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）に要求される応答性の $1/10$ 倍程度の周期になるようにするのが好ましい。例えば、ガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）の応答性の要求が $100msec$ であれば、 $10msec$ の周期をもつパルス信号、即ち、 $100Hz$ 以上とするのがよい。応答性を損なうことなく、起電力 V_2 を十分に平滑回路で平滑化することができる。

【0151】そして、第1の実施の形態に係るガスセンサ10A（その変形例を含む）においては、矩形波発生

24

回路76から出力される矩形波信号 S_f のパルス幅はできるだけ短い方が好ましい。定電流 i の波高値を高く設定できるからである。

【0152】第2の実施の形態に係るガスセンサ10B（その変形例を含む）においても、矩形波発生回路76から出力される矩形波信号 S_d のパルス幅 P_w はできるだけ短い方が好ましい。定電流 i の波高値を高く設定できるからである。

【0153】第3の実施の形態に係るガスセンサ10Cにおいては、調整用抵抗 R_c を設けずにセンサ本体12の個体間のばらつきを補正しない場合、矩形波発生回路112から出力されるパルス信号 S_p の周波数は低い方がよい。周波数が低いほど、交流インピーダンスが高くなり、駆動信号 S_{vp} の電圧変化が大きくなるからである。

【0154】第3の実施の形態に係るガスセンサの変形例10Caにおいては、調整用抵抗 R_c を設けてセンサ本体12の個体間のばらつきを補正することから、前記矩形波発生回路112から出力されるパルス信号 S_p の周波数は高い方がよい。周波数が高いほど、交流インピーダンスが低くなり、調整用抵抗 R_c の値で決まるポンプ電流の変化、温度変化、耐久変化等による測定用ポンプセルのインピーダンス変化に左右されにくくなるからである。

【0155】前記第1～第3の実施の形態に係るガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）においては、基準電極38と検出電極60を含む測定用ポンプセル62の制御に適用した例を示したが、その他、補助ポンプセル52や主ポンプセル32の制御にも適用させることができ、特に、補助ポンプセル52の電流値が一定になるように主ポンプセル32の補正制御を行う場合において非常に有効となる。

【0156】その理由は、補助ポンプセル52のポンプ電流は、数 μA 以下であるため、わずかな検出誤差が誤動作の要因となるが、第1～第3の実施の形態に係るガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）を適用することにより、前記ポンプ電流を、周波数として、パルス幅として、あるいは電圧値として大きなレンジで検出することができ、検出誤差をなくす上で有効となる。

【0157】また、前記第1～第3の実施の形態に係るガスセンサ10A～10C（各変形例を含む）においては、被測定ガス中の NO_x 濃度を測定する場合について説明したが、酸素ポンプを用いた酸素センサ、可燃ガスセンサ、 CO_2 センサ、 H_2O センサ等にも適用させることができ、プロトンイオン伝導体を用いた H_2 センサ、 H_2O センサ、あるいはそれらの特定のガスの濃度を制御するための制御用のポンプにも適用させることができる。

【0158】なお、この発明に係るガスセンサ及びガスセンサの制御方法は、上述の実施の形態に限らず、この

発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【0159】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るガスセンサ及びガスセンサの制御方法によれば、電氣的ノイズ等の影響を受けにくく、高精度に所定のガス成分を測定することができる。

【0160】また、端子を増加させなくてもセンサ個体間のばらつきを補償することができ、製造コスト上、有利となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係るガスセンサの構成を示す平面図である。

【図2】第1の実施の形態に係るガスセンサの構成を示す断面図（図1におけるII-II線上の断面図）である。

【図3】第1の実施の形態に係るガスセンサの回路系を示すブロック図である。

【図4】第1の実施の形態に係るガスセンサにおいて、NO濃度の変化に対するパルス状の電流信号の周波数の変化を示す特性図である。

【図5】第1の実施の形態に係るガスセンサにおけるパルス状の電流信号の波形を直流電流波形と共に示す波形図である。

【図6】第1の実施の形態に係るガスセンサの変形例の回路系を示すブロック図である。

【図7】第2の実施の形態に係るガスセンサの回路系を示すブロック図である。

【図8】第2の実施の形態に係るガスセンサにおいて、NO濃度の変化に対するパルス状の電流信号のデューティ比の変化を示す特性図である。

【図9】第2の実施の形態に係るガスセンサにおけるパルス状の電流信号の波形を直流電流波形と共に示す波形図である。

【図10】第2の実施の形態に係るガスセンサの変形例の回路系を示すブロック図である。

【図11】第3の実施の形態に係るガスセンサの回路系を示すブロック図である。

【図12】第3の実施の形態に係るガスセンサにおいて、NO濃度の変化に対するパルス状の駆動信号の電圧

の変化を示す特性図である。

【図13】第3の実施の形態に係るガスセンサにおけるパルス状の駆動信号の波形を直流電圧波形と共に示す波形図である。

【図14】第3の実施の形態に係るガスセンサの変形例の回路系を示すブロック図である。

【図15】従来例に係るガスセンサの構成を示す断面図である。

【図16】提案例に係るガスセンサの構成を示す断面図である。

【図17】従来の分流抵抗方式の構成を示す説明図である。

【符号の説明】

10A、10Aa、10B、10Ba、10C、10Ca…ガスセンサ

12…センサ本体 14…電流供給回路

32…主ポンプセル 38…基準電極

60…検出電極 62…測定用ポンプセル

64…測定系 70…起電力測定回路

72…比較電圧発生回路 74…比較回路

76、112、120…矩形波発生回路 78…定電流源

80、114、122…駆動回路 82、100…発振部

84…周波数変換部 90…周波数検出回路

92、94、106、118、120…出力回路 102…デューティ比変換部

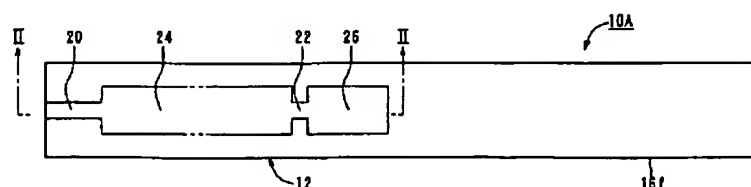
104…デューティ比検出回路 110…増幅回路

116…電圧検出回路 R2…電流検出抵抗

Rc…調整用抵抗

【図1】

FIG 1



【図8】

FIG 8

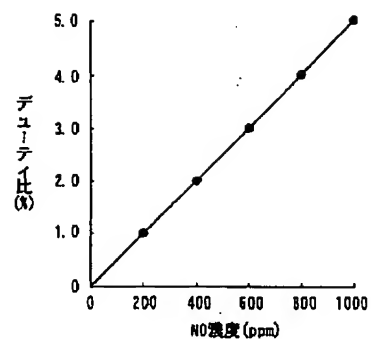
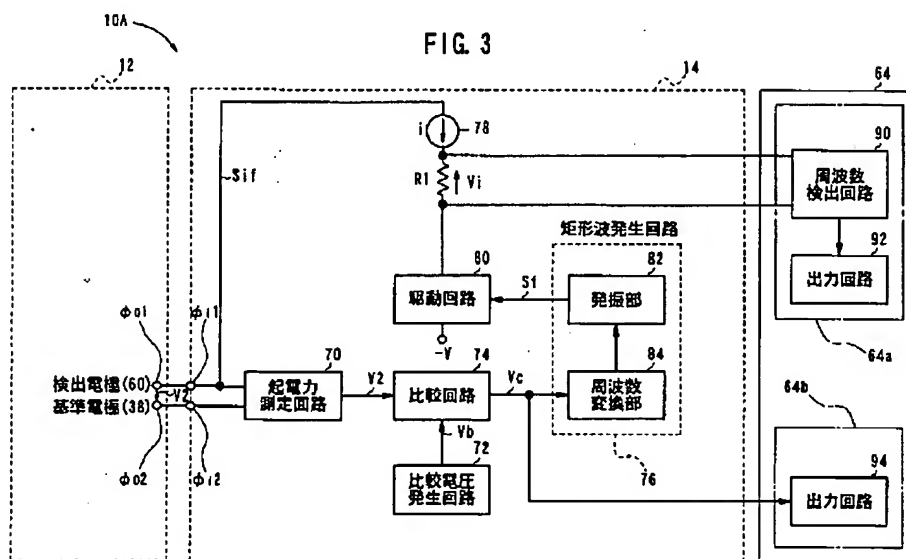
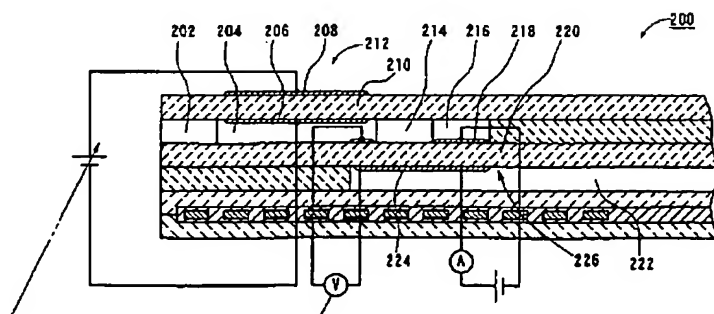


FIG. 3

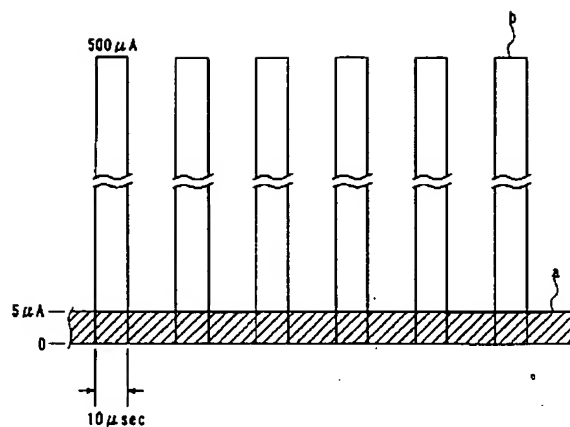


【図15】

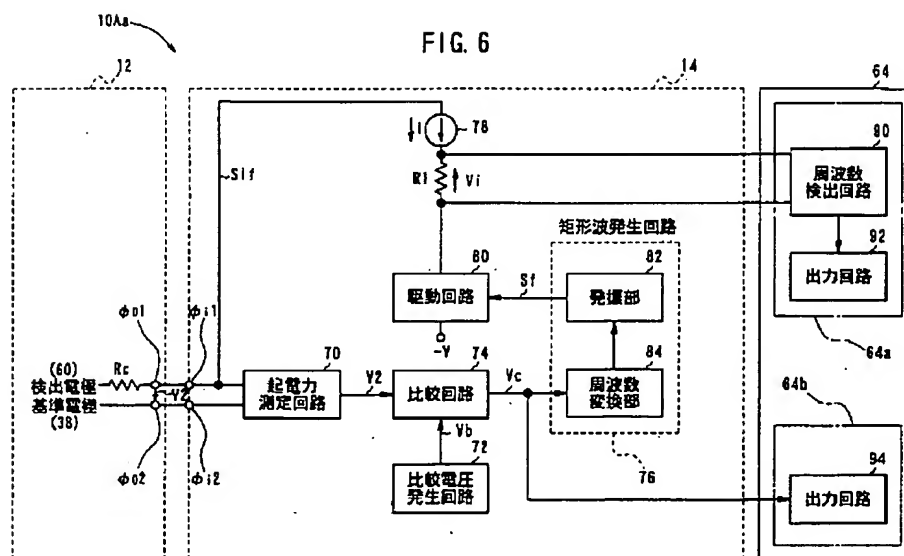
FIG. 15



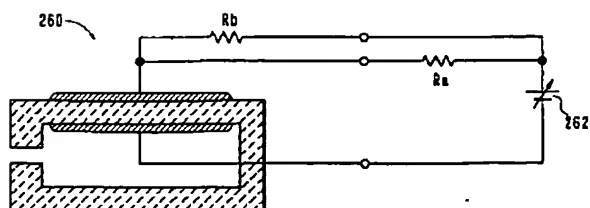
【图5】



【図6】

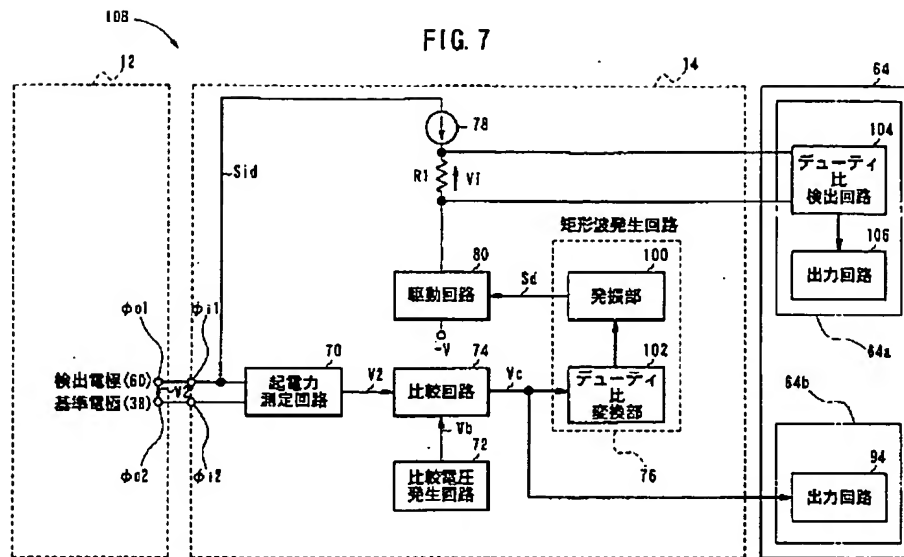


【图 17】



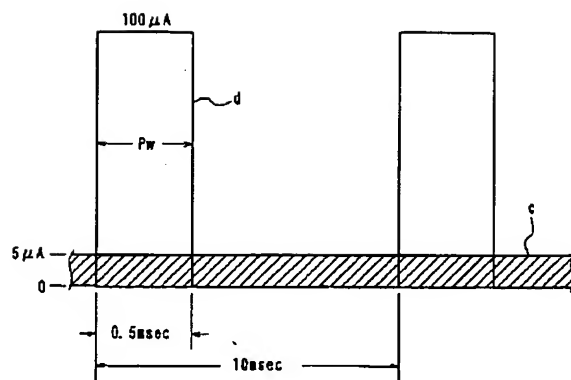
【図7】

FIG. 7



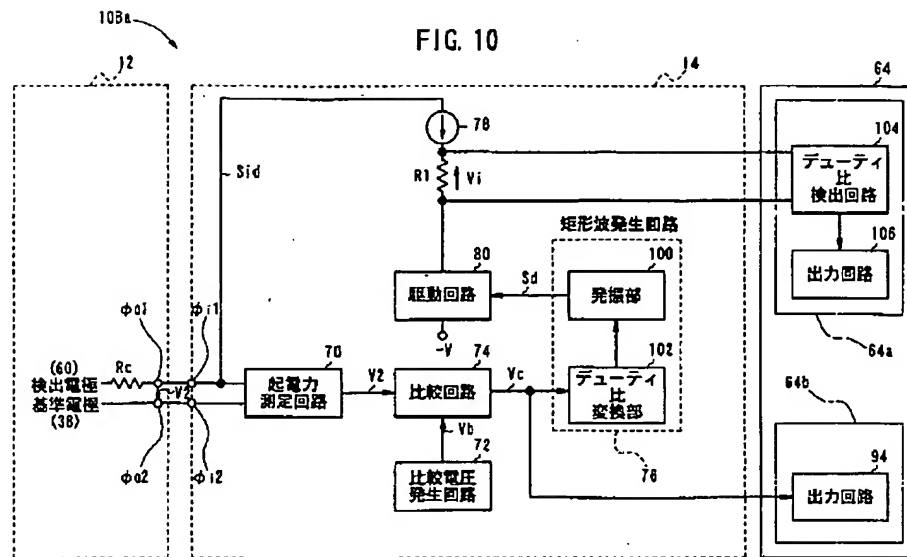
【図9】

FIG. 9



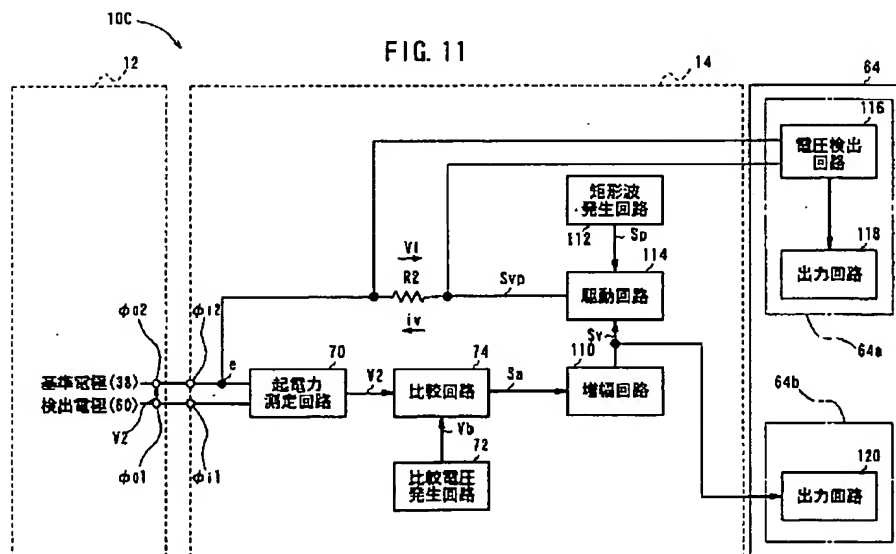
【図10】

FIG. 10



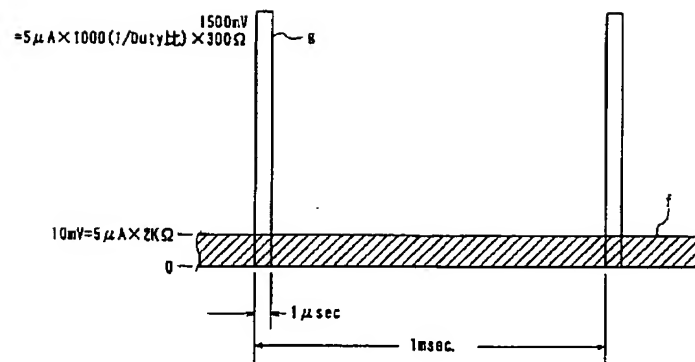
【図11】

FIG. 11



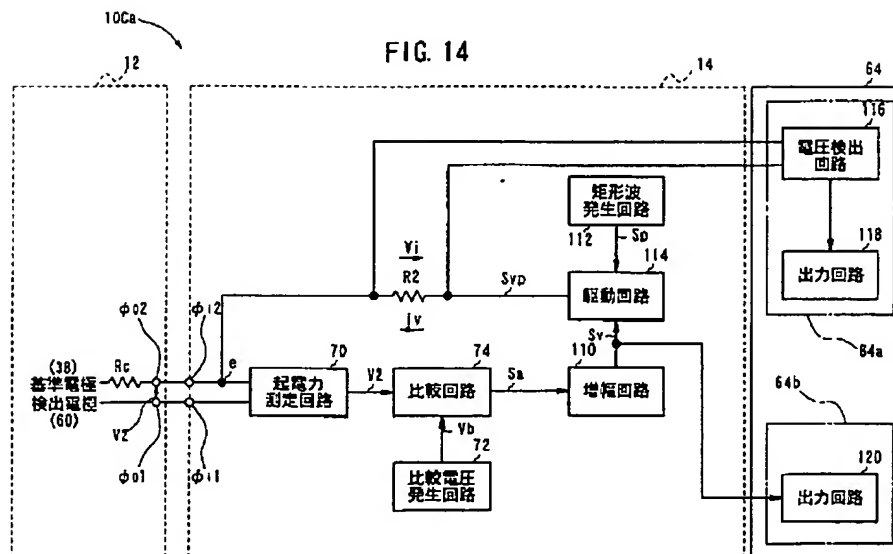
【図13】

FIG. 13



【図14】

FIG. 14



【図16】

FIG 16

